

INDUSTRIALIZACIÓN Y SOSTENIBILIDAD EN VIVIENDA: APLICACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN MODULAR LIGERA A CASAS SOLARES

Graciela Ovando Vacarezza, Benito Lauret Aguirregabiria.
Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas.
Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
Avenida Juan de Herrera, Nº 4, Ciudad Universitaria, 28040, Madrid.
Teléfono: 91 336 4237, Fax: 91 336 6560
e-mail: graciela.ovando@gmail.com

RESUMEN

La sostenibilidad en el sector de la vivienda y la reducción progresiva de emisiones de CO₂ exige de las viviendas una mayor eficiencia energética. En este sentido las casas solares, es decir, aquellas que cuentan con instalaciones de captación de energía solar destinadas a cubrir el máximo de sus necesidades energéticas, pueden considerarse como paradigma de viviendas sostenibles.

La investigación actual y futura se orienta tanto hacia la construcción industrializada como hacia la sostenibilidad por lo que la industrialización en la construcción de casas solares presenta una especial relevancia. El método de los módulos tridimensionales ligeros es un sistema constructivo que se adapta muy bien a la construcción de casas solares. En consonancia con esto cabe destacar el concurso Solar Decathlon promovido por el Departamento de Energía de EEUU, como uno de los principales laboratorios de prototipos de casas solares, la mayoría de ellos realizados mediante módulos tridimensionales ligeros.

En este estudio se exploran las posibilidades de utilización de la construcción modular ligera para extraer criterios de diseño constructivo de aplicación en prototipos de casas solares.

1.- Introducción

Una de las líneas que impulsan a la modernización en la construcción de viviendas es precisamente la incorporación de mayores niveles de industrialización. Por otra parte la mejora de la calidad en las viviendas cada día mas apreciada por la demanda se alcanza más fácilmente con técnicas de construcción racionalizadas que vayan eliminando progresivamente la artesanidad y la humedad en la construcción, optimizando al mismo tiempo los plazos de ejecución. Últimamente la sostenibilidad del planeta obliga a reflexionar sobre aspectos relacionados con la sostenibilidad del proceso edificatorio en todo su ciclo de vida, siendo la durabilidad un criterio clave en combinación con el reciclaje de desechos de la construcción. Se entiende que la industrialización es una línea que puede incidir positivamente en la mejora de la sostenibilidad de la edificación.

Dentro de los métodos de industrialización de la construcción de viviendas ocupa un lugar fundamental la utilización de módulos tridimensionales y últimamente parece haber una tendencia hacia los módulos tridimensionales ligeros frente a los pesados. En países como EEUU en los que predomina la vivienda unifamiliar sobre la colectiva, el sector de la vivienda prefabricada comprada por catálogo conoce un desarrollo de más de un siglo. Desde las viviendas comercializadas por piezas de madera precortada hasta las modernas viviendas fabricadas por módulos tridimensionales ligeros ha habido una intensa evolución durante todo el siglo XX, con el desarrollo de caravanas y casas móviles. Últimamente están apareciendo en el mercado sistemas de vivienda basados en la construcción por módulos tridimensionales ligeros con una variedad de formas y versatilidad de espacios que parecen haber superado la rigidez inicial de este tipo de construcción.

Por otra parte el concurso Solar Decathlon de Estados Unidos plantea el desarrollo de casas solares, que deben por una parte generar su propia energía y por otra ser eficientes en su consumo, lo que se orienta claramente hacia su sostenibilidad. El hecho de que según las normas de concurso tengan que instalarse en un plazo máximo de 9 días hace que la mayoría de las Universidades opten por el sistema constructivo de módulos tridimensionales ligeros. En este trabajo se analiza la aplicación de la construcción modular ligera a la realización de estos prototipos de casas solares.

2.- Análisis histórico

La industrialización comercial de viviendas se remonta hasta fechas tan tempranas como 1908. En EEUU por estas fechas ya se podían adquirir casas en kit de madera precortada de la marca Sears, Roebuck and Co. (fig. 1).

Después de la 2ª guerra mundial aparecieron diversas patentes comerciales de casas prefabricadas por piezas, como la Lustron, fabricada en serie y realizada en paneles metálicos ligeros (fig. 2).

Merece la pena aquí citar la Dymaxion house de Richard Buckminster Fuller que si bien no pasó a la producción comercial, representa un hito fundamental en la historia de la industrialización de la vivienda por sus conceptos revolucionarios (fig. 3).



fig. 1 Casa Sears.

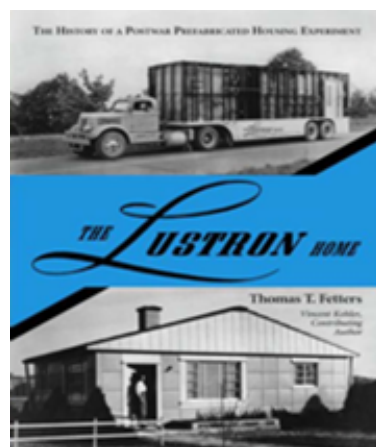


fig. 2 Casa Lustron.



fig. 3 Casa Wichita, Buckminster Fuller, 1949.

3.- Situación actual

En la actualidad la construcción industrializada de viviendas goza de cierta aceptación en el mercado estadounidense, en contraposición, por ejemplo con países europeos como España, donde su presencia es prácticamente testimonial.

Uno de los sistemas mas utilizados es la construcción por módulos tridimensionales ligeros, normalmente realizados con madera. Un ejemplo de ello puede ser la casa Breckenridge (fig. 6). Es una casa que pertenece a la categoría de los trailers según la legislación americana. Tiene un ancho de 3.50 m. aproximadamente y una superficie de 36 m² y su coste es de 45.000 dólares.

Otro país donde la construcción modular de viviendas tiene éxito es Japón. De este modo compañías tan prestigiosas como Toyota han entrado en el mercado de las casas modulares con sus propios sistemas de módulo tridimensional ligero. En el caso de la casa Toyota los módulos tridimensionales poseen una estructura metálica (fig. 5).

Como se ha dicho, en España no ha tenido éxito este sistema industrializado de construcción de viviendas, si bien se han realizado modelos experimentales como la Dominó 21, de José Miguel Reyes, que se expuso en Construtec 2004 (fig. 4).



fig. 4 Dominó 21.



fig. 5 Casa Toyota.



fig. 6 Casa Breckenridge.

4.- Acerca del Concurso Solar Decathlon

El concurso Solar Decathlon es una competición promovida por el Departamento de Energía de EEUU en la que los equipos de Universidades y estudiantes universitarios compiten para diseñar, construir y poner en funcionamiento una casa solar que debe ser autosuficiente y eficiente energéticamente (www.solardecathlon.org). La casa solo puede obtener su energía a partir del sol sin tener conexión a la red eléctrica y debe responder a los consumos de una vivienda de aproximadamente 55 m2 dotada de electrodomésticos, que tendrán que funcionar.

El concurso Solar Decathlon es un evento en el que se puede observar in situ la combinación de la energía solar, la eficiencia energética y el diseño de cada casa solar, que exponen las universidades en el "National Mall" de Washington DC.

Se denomina Decathlon porque durante el concurso hay que competir en 10 pruebas que se desarrollan en una semana y son puntuadas por un jurado.

Las 10 pruebas correspondientes a la edición del 2007 son:

1. Arquitectura	200 puntos
2. Ingeniería	150 puntos
3. Viabilidad de mercado	150 puntos
4. Comunicación	100 puntos
5. Zona de confort	100 puntos
6. Electrodomésticos	100 puntos
7. Agua caliente	100 puntos
8. Iluminación	100 puntos
9. Balance energético	100 puntos
10. Desplazamiento con coche eléctrico	100 puntos

5.- Condiciones de transporte, montaje y desmontaje en el concurso

Los equipos de las universidades tendrán que montar su casa en un corto período de 9 días en el Mall de Washington DC y desmontar la casa en 3 días. Dados estos condicionantes casi todas las universidades se orientan hacia una construcción ligera y modular.

Uno de los condicionantes mas severos a la hora de proyectar uno de estos prototipos es el del transporte, pues el reducido plazo disponible para su construcción y funcionamiento definitivo obliga a traerlos lo mas premontados posible. Dado que el ancho estándar de un transporte ordinario por carretera es de 2.50 m. algunas universidades optan por transportar unidades que se

ajusten a ese ancho. Otras aprovechan la posibilidad de utilizar transportes especiales de mayor ancho con objeto de transportar piezas mayores o incluso la casa entera. Según esto podemos distinguir tres estrategias de transporte:

- **Remolque grande:** Es el caso en que la propia casa lleva ruedas y va directamente enganchada al camión. Cuando llega a su destino se desengancha el camión y se le quitan las ruedas. Para el desmontaje se realiza la operación inversa. Como se puede apreciar no se necesita grúa para su montaje y desmontaje. Como ejemplos de este tipo podemos citar la casa de la Universidad de Virginia del 2005 (fig. 7), la de la Universidad de Maryland del 2007 (fig. 8) y la Universidad de Puerto Rico del 2007 (fig. 9).



fig. 7 Universidad de Virginia, 2005.



fig. 8 Universidad de Maryland, 2007.



fig. 9 Universidad de Puerto Rico, 2007.

- **Remolque pequeño:** En este tipo de transporte los diferentes módulos tridimensionales de la casa van sobre ruedas y se transportan como un remolque común (por ejemplo una caravana). Cuando los módulos llegan a destino se le quitan las ruedas y quedan fijos. Para el desmontaje se realiza la operación inversa. Como se puede apreciar tampoco se necesita grúa para su montaje y desmontaje. Como ejemplos de este tipo podemos citar la casa de la Universidad de Michigan del 2005 (fig. 10) y la de la Universidad de Cincinnati del 2007 (fig. 11).



fig. 10 Universidad de Michigan, 2005.



fig. 11 Universidad de Cincinnati, 2007.

- **Camión trailer con plataforma:** Se trata del método más habitual de transporte de módulos tridimensionales ligeros sobre la plataforma de un camión trailer, ya sea dentro del ancho estándar o con ancho especial. En este caso se precisa una grúa importante para su descarga e instalación en su lugar definitivo. Para el desmontaje se requiere igualmente la grúa para realizar la operación inversa. Son ejemplos de este sistema la Universidad de Carnegie Mellon (fig. 12) y la Universidad Politécnica de Madrid del 2007 (fig. 13).



fig. 12 Módulo de Carnegie Mellon, 2007.



fig. 13 Módulo de la casa de la UPM, 2007.

6.- Clasificación de módulos tridimensionales ligeros para vivienda

En el trabajo tutelado de doctorado del autor principal, dirigido por el catedrático Don Alfonso del Águila García, se propone una clasificación de los módulos tridimensionales ligeros que se puede aplicar en este caso a las casas del concurso Solar Decathlon de las ediciones del 2005 y 2007, para ilustrar mejor su tecnología.

Según la clasificación citada tendremos lo siguiente:

- **Módulo único:** Basados en un único módulo tridimensional que se transporta de una sola vez (fig. 7, fig. 8, fig. 9, fig. 18).
- **Módulos aditivos:** Basados en la asociación horizontal (adosables) y/o vertical (apilables) de varios módulos tridimensionales cuya identidad espacial es reconocible en el edificio final (fig. 11, fig. 12, fig. 15, fig. 16, fig. 19).
- **Módulos secciones múltiples:** Basados en la asociación de varios módulos cuya identidad espacial individual desaparece en el todo (fig. 5).

A la anterior clasificación podemos agregar dos categorías adicionales que si bien no pertenecen al campo de los módulos tridimensionales, ayudan a completar el espectro de soluciones industrializadas empleadas para el montaje de estas casas solares:

- **El kit:** Es un conjunto coordinado de partes pequeñas muy industrializadas que permiten un transporte muy fácil por su tamaño y un montaje muy rápido y sencillo por personal con poca cualificación (fig. 14).
- **El panelizado:** es un sistema de construcción que consiste esencialmente en elementos bidimensionales o paneles, que simplifica mucho el transporte con respecto a los módulos tridimensionales y proporciona elementos mas terminados y por lo tanto mayor rapidez de montaje que el kit (fig. 21).



fig. 14 Casa en kit de la Universidad de Montreal, 2007.

7.- Exposición de algunos ejemplos significativos: Virginia, Michigan 2005 y Carnegie Mellon 2007.

En primer lugar destaca en el concurso de 2005 la casa de la Universidad de Virginia (fig. 7 y fig. 17). Ganó el primer puesto en la prueba de arquitectura y su estrategia de transporte en una pieza ha sido imitada. Su página Web contiene una detallada colección de fotos paso a paso de la construcción de la casa en la Universidad, haciendo especial hincapié en el sistema de transporte empleado. Este incluía el utilizar el forjado de suelo de la casa como plataforma o chasis de transporte. De este modo se le instalaron piezas de anclaje delante y detrás para instalar la pieza de enganche al camión (goose-neck) y el carrito posterior de ruedas (dolly). Estos elementos se desmontaban al llegar a destino y se volvían a instalar para el desmontaje, facilitando enormemente el transporte de la casa. Además la estructura de la plataforma exterior (deck) para rigidizar la casa durante el transporte, oficiando de viga triangulada de gran canto.

La casa de la Universidad de Michigan en 2005 (fig. 16) se destaca por tener uno de los diseños más audaces vistos hasta la fecha en el concurso. No solo su aspecto final era impactante sino que el desarrollo de ingeniería desplegado también era notable. Merece especial mención su sistema de ensamblaje de secciones sucesivas, muy fáciles de transportar por su reducido tamaño. Es hasta la fecha la única casa que reclama por su planteamiento cierta continuidad con la mítica casa Dymaxion (fig. 3).

La casa de la Universidad de Carnegie Mellon 2007 (fig. 15) tiene interés por haber utilizado de forma fehaciente y visible el sistema de módulo tridimensional ligero, intentando lograr el máximo de movimiento y variedad espacial a base de módulos ortoédricos. Junto con la ganadora Darmstadt (fig. 19) fue la única casa en no exhibir cubierta inclinada como el resto.

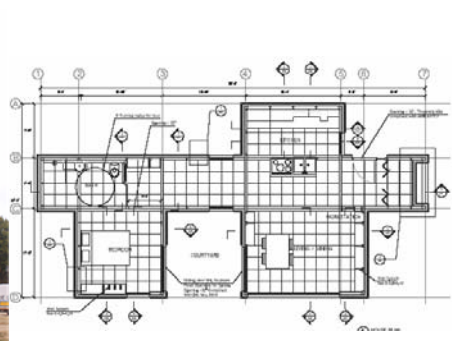


fig. 15 Casa de la Universidad de Carnegie Mellon, 2007.

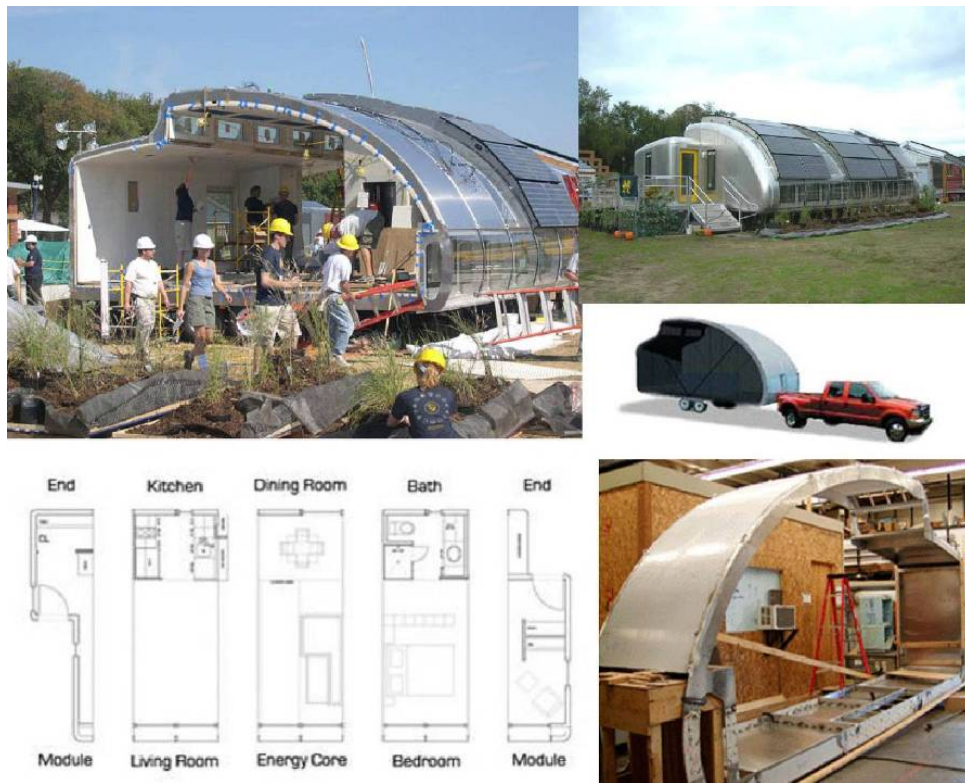


fig. 16 Casa de la Universidad de Michigan, 2005.

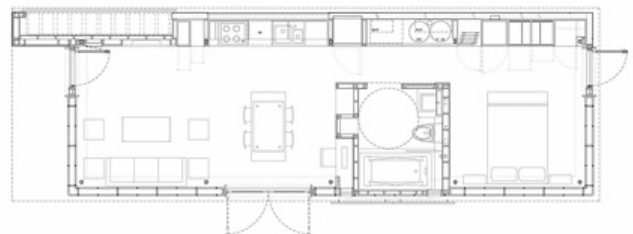


fig. 17 Casa de la Universidad de Virginia, 2005.

8.- Los ganadores del 2005 y 2007

La casa de la Universidad de Colorado (fig. 18) ganó el concurso 2005. No se destacó en ningún aspecto concreto pero la regularidad del equipo y el mal tiempo le dieron la victoria final. Su concepto modular era de módulo único con algún elemento desplegable. Cabe destacar el empleo de materiales reciclados en su construcción (paneles prensados de cáscara de soja) y el camión que la transportó funcionaba con biodiesel.

El caso de la Universidad de Darmstadt (fig. 19) es bien diferente. Para empezar ganó el concurso de arquitectura con un planteamiento de una gran simplicidad y contundencia racionalista. La calidad de sus acabados desmentía el escaso plazo de ensamblaje disponible, que suele pagarse en muchos casos con suturas de mediana calidad. Finalmente todo le funcionó a la perfección en cerrada pugna con Maryland (fig. 8), que obtuvo el segundo puesto en arquitectura, hasta el último día. Estaba impecablemente realizada con módulos tridimensionales de madera y todas las persianas exteriores incorporaban pequeñas células fotovoltaicas.

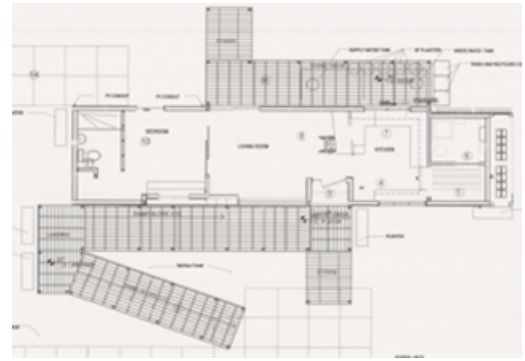


fig. 18 Casa de la Universidad de Colorado. Ganadora del Concurso Solar Decathlon 2005.

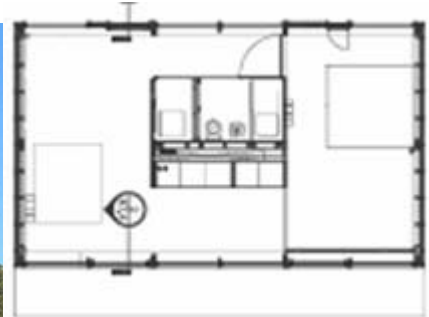


fig. 19 Casa de la Universidad de Darmstadt. Ganadora del Concurso Solar Decathlon 2007.



9.- Las casas de la UPM: Magic Box y Casa Solar.

La Universidad Politécnica de Madrid participó en el concurso por primera vez en 2005, con su prototipo Magic Box (fig. 21). Es realmente sorprendente la serie de innovaciones que proponía esta casa, desde tabiques móviles, hasta una plataforma hidráulica que se desplegaba creando un pequeño patio. En esta edición fue la única y la primera Universidad europea en participar, por lo que la empresa además fue pionera. Su montaje se realizó a base de paneles de steel frame en vez de módulos tridimensionales. El motivo fue el largo viaje en barco desde España que obliga a desmontar la casa en partes pequeñas que quepan en contenedores navales. Esta casa obtuvo el noveno puesto de un total de dieciocho participantes.

La casa solar de la UPM de 2007 (fig. 20) se ha beneficiado notablemente de la experiencia adquirida en 2005. Para empezar el planteamiento ha sido mucho más conservador y convencional, con un esquema lineal mucho más acorde con las necesidades de transporte. La construcción se ha realizado por módulos tridimensionales ligeros, con una estructura principal de acero laminado y unos cerramientos de steel frame. El problema del viaje por mar se ha resuelto desmontando en piezas los módulos tridimensionales para poder meterlos en contenedores navales. Después se volvieron a ensamblar estos módulos en Maryland y finalmente viajaron a Washington DC para su instalación final. Esta casa obtuvo el quinto puesto general y el tercero en arquitectura, por detrás de Darmstadt (fig. 20) y Maryland ((fig. 8).



fig. 20 Casa Solar de la Universidad Politécnica de Madrid.
Concurso Solar Decathlon 2007.

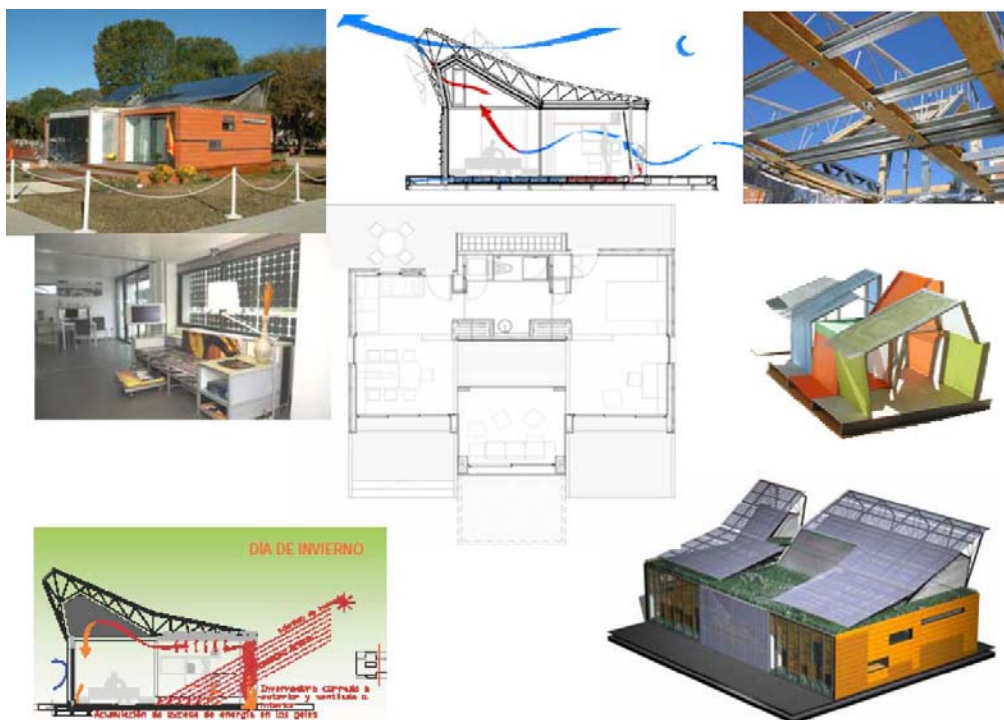


fig. 21 Casa Solar de la Universidad Politécnica de Madrid.
Concurso Solar Decathlon 2005.

10.- Conclusiones

Del análisis realizado anteriormente se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Una gran parte de las casas solares presentadas en el concurso Solar Decathlon están

realizadas por módulos tridimensionales ligeros, predominando aquella cuya estructura es de madera.

- Una variante interesante es aquella en que la casa incorpora un chasis con ruedas que facilitan el transporte. La gran tradición americana de las mobile homes hace que este sistema resulte muy familiar en aquel país.
- Residualmente aparecen casas realizadas en kit, es decir que se ensamblan desde cero, debido seguramente a la circunstancia de tener patrocinadores que comercializan dichos sistemas y a la confianza en su rápido montaje.
- Las Universidades europeas que han participado hasta la fecha son Darmstadt (fig. 19) y la UPM (fig. 20 y fig. 21). El sistema utilizado por Darmstadt, ganadora del concurso 2007, ha sido el de módulos tridimensionales ligeros, de secciones múltiples con estructura de madera.
- La casa de la UPM de la edición 2005, a saber Magic Box (fig. 21), se trasladó para su montaje en forma panelizada, con elementos superficiales realizados en steel frame.
- La casa de la UPM de la edición del 2007 (fig. 20), a saber, Casa Solar, se transportó para su montaje en módulos tridimensionales ligeros con una filosofía cercana al módulo único, ya que la parte inferior de la vivienda se transportó de una sola pieza, pero ensamblándose además con la cubierta que llegó en dos módulos y finalmente con la “mochila tecnológica” que llegó en otros dos módulos, mas dos pequeñas piezas correspondientes a la entrada y a la cocina, ensamblándose siete partes en total. La estructura principal de estos módulos era de perfiles laminados de acero, resolviéndose los cerramientos con paneles de steel frame.

11.- Bibliografía

Libros:

AGUILA, Alfonso del. La industrialización de la edificación de viviendas. Madrid: Mairera, 2006.

REYES, J.M. d21_system: un juego para ser habitado. Madrid: Mairera Libros, 2007.

GIANINO , Andrew. The Modular Home, ed. Jeff Beneke, United States 2005.

THE RAHUS INSTITUTE. Solar Decathlon. The 2005 International Competition of Solar Home Design (Paperback). United States: Tor Allen , Clay Atchison , Anne Washmera , 2006.

BROWN, David J. The Home House project. Cambridge (Mass.): The MIT Press, 2004.

SOLANAS, Toni. Vivienda y Sostenibilidad en España. Barcelona: Gustavo Gili, 2007.

EBONG, Ima. Kit homes modern. New York: Collins Desing, 2005.

Páginas Web:

www.solardecathlon.org, página oficial del Concurso Solar Decathlon, EEUU.

www.fabprefab.com, dedicada a evolución del mercado de viviendas prefabricadas.

www.inhabitat.com/category/architecture/, weblog dedicado al seguimiento de las innovaciones en la tecnología, las prácticas y materiales hacia una forma más inteligente y más sostenible.

www.mocoloco.com, blog de arquitectura y diseño moderno y contemporáneo.

www.livemodern.com, diseño sostenible de viviendas, productos y servicios.

www.arkinetia.com, revista digital de arquitectura.

www.toyotahome.co.jp, página oficial de las casas que fabrica Toyota.